引用格式：孙小强, 高秀云, 王玉梅. 制造业数智化融合转型发展的关键要素、机理分析及评价指标研究. 中国科学院院刊, 2024, 39(2): 323-332, doi: 10.16418/j.issn.1000-3045.20230109002.
Sun X Q, Gao X Y, Wang Y M. Key elements, mechanism analysis and evaluation indicators of digital and intelligent integration transformation and development of manufacturing industry. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2024, 39(2): 323-332, doi: 10.16418/j. issn. 1000-3045.20230109002. (in Chinese)

制造业数智化融合转型发展的关键要素、机理分析及评价指标研究

孙小强　高秀云　王玉梅*
青岛科技大学　经济与管理学院　青岛　266061

摘要　制造业数智化融合转型已成为传统制造企业高质量发展的重要推动力。文章厘清国内外学者关于制造业数智化融合转型的主要研究脉络与关键问题，提炼制造业数智化融合转型发展的目标要素、主体要素及影响因素，依据系统动力学的系统反馈原理构建制造业数智化融合转型发展的动力网络模型，分析系统各要素之间作用机理；在此基础上，建立了一套科学的融合评价指标体系，为进一步研究制造业数智化融合转型发展问题提供理论参考。

关键词　制造业，数智化融合转型，关键要素，机理分析，评价指标

DOI　10.16418/j.issn.1000-3045.20230109002
CSTR　32128.14.CASbulletin.20230109002

1 制造业数智化融合转型发展的背景研究

制造业作为我国国民经济的主体，是强国之基，立国之本；制造业门类齐全，为我国经济社会发展提供了有力支撑。改革开放以来，以制造业为代表的实体经济发展取得显著成就。自2010年以来，我国制造业总量已连续12年位居全球首位，主要工业产品产量大幅跃升，发展规模日益壮大。虽然我国已是名副其实的制造大国和工业大国，但大而不强的状况却依旧存在。要想实现制造业的高质量发展，提高产品品质与生产管理效率，必须转变发展模式，突破核心技术瓶颈，提升制造企业各个环节的数字化、智能化水

*通信作者
资助项目：山东省社会科学规划重点项目（23 BJMJ 01），山东省社会科学规划研究项目（22CGLJ14），山东省自然科学基金（ZR2020MG052），山东省重点研发计划（软科学项目）（2019RZB02017）
修改稿收到日期：2024年1月23日

平，即通过数智化融合转型寻求新的发展模式与路径。数智化融合转型中的“数”代表数字，强调信息化层面的网络、技术、数据等；“智”代表智能，强调智能化的基础设施。制造业数智化融合转型指制造企业充分利用数据等有效信息，发挥数字技术的赋能引领作用，利用大数据、物联网、人工智能等新一代信息技术与设施对传统制造业进行全方位、全链条的改造，深化数字技术在生产、运营、管理及服务等各个环节的应用，实现制造企业数字化、智能化、绿色化发展的过程。

当前，推动制造业数智化融合转型受到了政府与制造企业的高度重视，政府不断完善制度环境并出台了一系列政策措施来扶持制造业的高质量发展。例如，《“十四五”信息化和工业化深度融合发展规划》中提出，信息化和工业化深度融合是信息化和工业化两个历史进程的交汇与创新，是中国特色新型工业化道路的集中体现，是新发展阶段制造业数字化、网络化、智能化发展的必由之路，是数字经济时代建设制造强国、网络强国和数字中国的扣合点；要培育新产品新模式新业态、推进行业领域数字化转型、激发企业主体新活力。这些政策文件的出台都在一定程度上推动了制造业数智化融合转型，为制造业高质量发展提供了重要保障。

国内外学者们从不同视角对制造业数智化融合转型发展进行研究。其中有代表性的有：① 资源配置视角。认为提升企业的资源配置能力、推动产能效率的提升、打破传统企业的资源配置模式，能进一步促进制造业数智化融合转型的发展[1,2]。② 生产成本视角。研究通过数字技术的应用提质增效，进而提升企业的数字化、智能化水平，有效降低生产成本[3-5]。③ 创新驱动视角。认为通过建立创新驱动的发展模式，对关键核心技术进行研发，不断进行产品创新，提升产品性能的同时有效推动制造业数智化融合转型的实现[6-8]。④ 产品质量视角。认为数据这一新型生产要素可通过数字技术的应用进行深度挖掘处理，在此基础上分析可能潜在的问题，提高生产链的运行效率及产品质量，助力制造业数智化融合转型的实现[9,10]。

2 制造业数智化融合转型发展的关键要素分析

制造业数智化融合转型发展过程中各要素之间互相作用、互相融合，形成一个非线性发展的复杂系统。在该过程中存在以关键要素为载体的连续、相互联系和促进的多重循环与反馈。依据产业关联理论与系统动力学反馈原理，分别对制造业数智化融合转型发展的目标要素、主体要素及影响因素等关键要素进行系统分析，强调关注动态而非静态、整体而非局部地分析各要素行为的变化，使该过程得到持续良性的运行和发展，有助于更深层次地研究其发展的科学规律。

2.1 制造业数智化融合转型发展的目标要素

制造业数智化融合转型发展目标要素：通过制造业数智化融合转型的迅速发展，制造企业基础将持续壮大、融合提速升级、创新驱动显著增强、质量效益大幅提升、治理体系逐步完善、全面推行绿色发展，最终实现制造业数智化融合转型发展的良性循环。

2.2 制造业数智化融合转型发展的主体要素

制造业数智化融合转型发展的过程，只有基于各项主体才能完成。主体要素在转型发展过程中起主导作用，各主体的能力及主观能动性决定着转型发展的效果。制造业数智化融合转型发展是由不同主体要素组成的开放复杂的生态系统，该系统以数字化创新为引领和支撑，以产业融合为经济发展的驱动力，各主体实现多元共治，且发展伴随着整体数字化、智能化程度的提升。

（1）政府机构。一方面，政府出台了一系列政策，为制造业数智化融合转型提供引领与支撑；另一方面，政府利用数据共享、减税降费等方式来降低制

造业转型的成本与风险，提高转型效率。

（2）制造企业。制造企业是数智化融合转型的执行者，也是转型的实现载体，是制造业数智化融合转型过程中最核心的主体要素。制造企业以大数据、物联网、人工智能、云计算等新一代信息技术为支撑，融合传统产业与新兴产品，更新产品生产工艺及流程，不断提高生产效率，助力实现数智化融合转型。

（3）“高校+科研院所”。制造业数智化融合转型的实现离不开高技能人才的支撑，以及关键核心技术的研发。通过政产学研合作，高校与企业、科研院所共建技术创新与服务平台，推动关键技术的转移及成果转化，为制造业数智化融合转型注入源源不断的动能。

（4）平台企业。平台企业指通过搭建一个数据信息存储、分享、浏览及互动的平台来提供服务的企业总称。平台是各类数据的集聚地，可以帮助企业快速、准确地获取有效信息，降低数据资源搜寻成本，从而助力企业的数智化融合转型。

（5）中介机构。制造业数智化融合转型的实现与金融机构、数据管理中心等中介机构息息相关。转型需要长期投入大量的资金，金融机构等组织可有效促进融资需求的形成；数据管理中心通过推进数据在市场内的高效流通，逐步释放数据要素红利，从而促进制造业数智化融合转型，发挥数据管理中心对制造业高质量发展的助力作用。

（6）消费者。制造业数智化融合转型的最终目的就是为了最大程度地满足消费者定制化、个性化的需求，提高客户体验；反之，消费者的反馈意见也可以对企业转型发展起到一定的促进作用，企业可以更有针对性地对相关问题进行改善，从而助力制造企业数智化融合转型的实现。

制造业数智化转型的各主体要素之间相互联系，共同作用；要加快构建以企业为主体、市场为导向、知识与数据为基础、政产学研相结合的产业数智化融合发展体系，加强制造企业人才队伍建设，借助平台企业与中介机构的大力支持，推动制造业数智化融合转型的实现，进而助力制造企业高质量发展。

2.3 制造业数智化融合转型发展的影响因素

制造业数智化融合转型发展受到多方面、多角度因素的影响，主要包括动力因素与障碍因素2个部分。

2.3.1 动力因素

（1）数字基础设施建设。数字基础设施指应用新一代信息技术的新型基础设施体系。传统制造业的基础设施相对落后，数字化、智能化水平较低，而互联网平台、智能设备等建设的完善与否直接决定了企业数智化融合转型的效果。因此，完备的数字基础设施对制造业数智化融合转型发展具有强烈的推动作用。

（2）人才队伍建设。良好的人才队伍建设是推动制造业数智化融合转型发展的决定性因素。随着企业数智化融合转型发展的不断深入，企业对数智化人才的需求也在急剧增长，建立一批既懂技术又懂业务的复合型人才队伍一定程度上会大力促进企业转型；人才已成为制造业数智化融合转型发展的中坚力量。

（3）政策制度。制造业数智化融合转型发展受到了国家的高度重视，具有良好的政策环境，一系列政策制度的出台为其提供了充分的前提条件与环境保障。在国家政策的引领下，制造业数智化融合转型发展推行起来会有更加清晰的方向，也更容易实现目标。

（4）创新驱动能力。创新驱动能力的提高，有利于制造企业摆脱传统、落后的发展模式，改善生产及管理模式，优化产线流程；通过技术创新提升生产效率和管理效率，并进一步改善产品质量，令创新引擎助力制造企业数字化、智能化水平的提升，最终实现制造业数智化融合转型的发展。

（5）企业文化。良好的企业文化氛围与正确的价值导向对企业来说是一种激励作用。制造业数智化融合转型发展不仅包括数字技术的广泛应用及创新，还

包括数字化的企业文化，以及数字化企业氛围的创建等。数字化企业文化，在企业中，企业家具有数字化的知识结构，以及在企业环境中有知识交流等；数字化企业氛围，在企业中，通过数字化技术和理念的应用，形成了一种积极、创新、高效、协作的文化氛围。

（6）市场结构及需求变化。制造业数智化融合转型的重要原因之一是传统制造企业的生产及管理模式已无法适应当今时代市场结构及需求的变化。当下，消费者对产品的需求逐渐转向个性化、定制化，制造企业唯有通过转型来实现自身从研发、生产到销售等一系列流程的数智化提升，才能增强企业的市场竞争力。

（7）国际、国内及行业背景。从国际背景来看，全球制造业格局发生了深刻变化；从国内及行业背景来看，我国制造业的低成本优势逐渐衰退，整体技术水平与工业强国相比仍存在较大差距，这导致传统制造业的劣势不断显现。在这样的背景下，我国制造业急需通过数智化融合转型来实现制造业的高质量发展。

（8）价值链驱动。目前我国制造业在全球价值链中仍处于较低地位，这与我国制造业转型较晚、缺乏有力的技术支撑等因素有关。为了改变这一现状，我国实行“底端向上”的制造业升级路线，未来还有很大的发展和提升空间。因此，一定程度上，价值链的驱动可促进制造业数智化融合转型发展的实现。

2.3.2 障碍因素

（1）产业基础与技术支撑不够坚实。我国制造业核心关键技术比较薄弱，部分企业设备尚未基本实现自动化，相对于发达经济体来说缺乏核心竞争力。在不够坚实的产业基础和技术支撑下，制造业数智化融合转型发展难免受限，缺乏安全稳定性，面临着被发达经济体势力制约、冲击的风险。

（2）数据开放共享受到阻碍。数据已经成为推动制造业数智化融合转型的重要战略资源。近年来我国公共数据开放虽然已经取得了明显进步，但仍未形成标准统一、互联互通的公共数据开放平台体系，这导致数据实用性不高、可获得性弱、应用成果不突出等问题，进而阻碍了制造业数智化融合转型的高质量发展。

（3）存在数据安全隐患。制造业数据涵盖了设备、产品、运营等多个方面，在数据采集、存储及应用过程中一旦泄露，将会给企业带来十分严重的数据安全隐患。数据一旦被篡改或传播，将会导致企业生产制造过程失衡，甚至威胁到企业与客户的隐私安全。

3 制造业数智化融合转型发展逻辑与路径分析

制造业数智化融合转型可视为一个以因果关系为基础的动态发展过程。结合上述对该过程的关键要素分析可知，该过程中包含诸多要素，不同要素之间的关系错综复杂，且各要素之间相互关联、相互作用，共同构成了一个“稳中有动”的动态发展过程。在此背景下，传统制造业利用数字技术，依托开放共享的数据资源，实现自身从研发、生产到销售等一系列流程的数智化融合转型，不断催生制造过程数字化和智能化。为了更加全面、直观地展示该过程各要素之间的因果关系，更加明确地了解制造业数智化融合转型发展的作用机理，结合前文对制造业数智化融合转型发展的目标要素、主体要素及影响因素相关分析可知，制造业数智化融合转型发展是一个由多方主体参与、受多种影响因素作用、追求最大效益的融合发展过程。

流图是用清晰直观的符号刻画系统要素之间的逻辑关系，明确变量的性质，进而阐述复杂过程的反馈形式及控制规律，为深入研究打基础的一种图形表示方法。主要包括4个基本要素：状态变量，描述积累效应的变量，也是过程运行的核心变量，本文构建的

制造业数智化融合转型发展过程的状态变量为制造业数智化融合转型发展水平；速率变量，与状态变量相对应，是描述过程中积累效应变化快慢的变量，本文所构建的速率变量为转型发展有效性、转型发展不适应性；辅助变量和常量，直接或间接作用于存量或流量，描述过程中各变量之间的因果反馈关系。

3.1 制造业数智化融合转型发展逻辑分析

为了构建制造业数智化融合转型发展的网络模型，本文对不同主体驱动下的制造业数智化融合转型发展逻辑进行分析。

（1）政府驱动的制造业数智化融合转型发展逻辑分析。一方面，通过数字政府的建设，政府调控能力进一步增强，政府信息公开程度、政务应用程度有了很大程度的提升，社会各项数据信息实现有效聚集、分散程度降低，从而促进数据资源的可获得性；但此时若没有与数据安全相关的政策制度，一定程度上会导致企业隐私数据信息有被泄露的风险；与此同时，政府的治理模式发生根本性变革，形成数字化、智能化的政府运行新形态，为制造业数智化融合转型发展提供相应的支持。另一方面，随着政府政策的不断完善，政府鼓励生产性服务业等其他行业通过创新发展实现对制造业的协同反馈作用，有效辅助制造业数智化融合转型，提升制造业的市场核心竞争力；有了一定的成果后，制造业数智化融合转型发展系统更加需要政府的扶持调控，并形成有益循环，进而促进制造业数智化融合转型的发展。

（2）制造企业驱动的制造业数智化融合转型发展逻辑分析。在政府相关政策的支持下，制造企业数智化人才队伍建设、数字化基础设施完善性，以及新一代信息技术的应用程度都会有所增强，进而提升企业的数智化生产管理水平。另外，企业以创新驱动为第一动力，不断加大创新资源投入，提高创新成果转化效率，进而提升企业的数字化、智能化水平，增强绿色发展能力与市场核心竞争力，由此形成制造业数智化融合转型发展系统的正反馈循环。通过该正向反馈，企业会继续加大创新资源投入，促进更多创新产出，推动该系统高质量发展。

（3）“高校与科研院所”驱动的制造业数智化融合转型发展逻辑分析。一方面，高校通过为制造企业培养一批高素质、高技能的人才，加强企业的数智化人才队伍建设，进而提升企业的数字化、智能化水平，增强企业的市场核心竞争力，最终实现制造业数智化融合转型发展。另一方面，高校与科研院所也是政产学研合作模式的重要组成部分，通过政产学研合作模式可有效增强科研院所数量及人才、数据等资源的聚集程度；通过与政府、企业共同建设创新服务平台，企业可为高校及科研院所提供资本支持，进而加大对核心技术的研发力度，增强高校与科研院所的科研成果转化能力，最终提升制造业数智化融合转型发展水平。通过这一良性反馈，企业对数字化、智能化人才的需求有增无减，会进一步提升高校与科研院所参与的积极性。

（4）平台企业驱动的制造业数智化融合转型发展逻辑分析。在数字平台企业的参与下，可对数据资源进行有效的整合处理，提高资源配置效率与数据信息集成能力，进而增强企业线上、线下的信息交互能力，提升有效信息的获取速度从而降低数据资源的搜寻成本，提升企业的数智化融合转型能力。在此基础之上，通过制造与服务数字体系的建设，可对企业的生产运营情况进行实时监测，优化生产线，进一步形成制造业数智化融合转型发展水平不断提升的有益循环，实现我国制造业在全球价值链中地位的提升。

（5）中介机构驱动的制造业数智化融合转型发展逻辑分析。在政府相关政策的支持下，通过完善企业创新融资体系，金融机构可为制造企业生产经营、人才培养、创新研发、营销宣传等多方面提供资金支持，缓解企业的融资压力，并提升企业的金融风险应对能力，促进制造业数智化融合转型发展的实现；金

融机构在得到投资回报后会继续增加投资，由此形成一定的良性循环。与此同时，一些数据管理中心的参与可促进数据要素在企业间的有序、安全流通，引导企业提升数据驱动的生产要素配置能力，推动企业更好地进行数智化融合转型，进而增强企业的市场核心竞争力，助力制造业数智化融合转型的高质量发展。

（6）消费者驱动的制造业数智化融合转型发展逻辑分析。在制造业数智化融合转型发展的社会氛围影响下，消费者会进一步参与其中，对产品及服务进行监督与反馈。与此同时，社会公众监督平台的搭建也为消费者创造了监督发声的平台。公众既是产品与服务的消费者，也是监督者；通过监督平台加强公众对企业的监管作用，推动企业有针对性地对相关问题进行改善。在消费者发挥监督作用的过程中，会促使企业的数智化融合程度得到进一步的提升，消费者多样化、个性化、数字化的需求体验得到满足，进一步提升消费者的监督治理能力，形成良性循环。

3.2 制造业数智化融合转型发展路径分析

在前文制造业数智化融合转型发展关键要素及逻辑分析基础之上，基于代表性、重点性和精简性原则，依据系统动力学循环反馈原理选取相关变量，利用Vensim PLE软件构建制造业数智化融合转型发展的网络模型（图1），运行之后可以发现，关于制造业数智化融合转型发展的反馈回路共有19条，分析系统内部要素之间相互作用、共同推进发展的循环过程，揭示系统发展的机理与运行规律，从而为指标体系的构建提供一定的理论依据。

由图1可知，制造业数智化融合转型发展系统中存在着诸多因素共同作用于该系统，而制造业数智化融合转型发展又会反过来影响系统内部变量；并且，

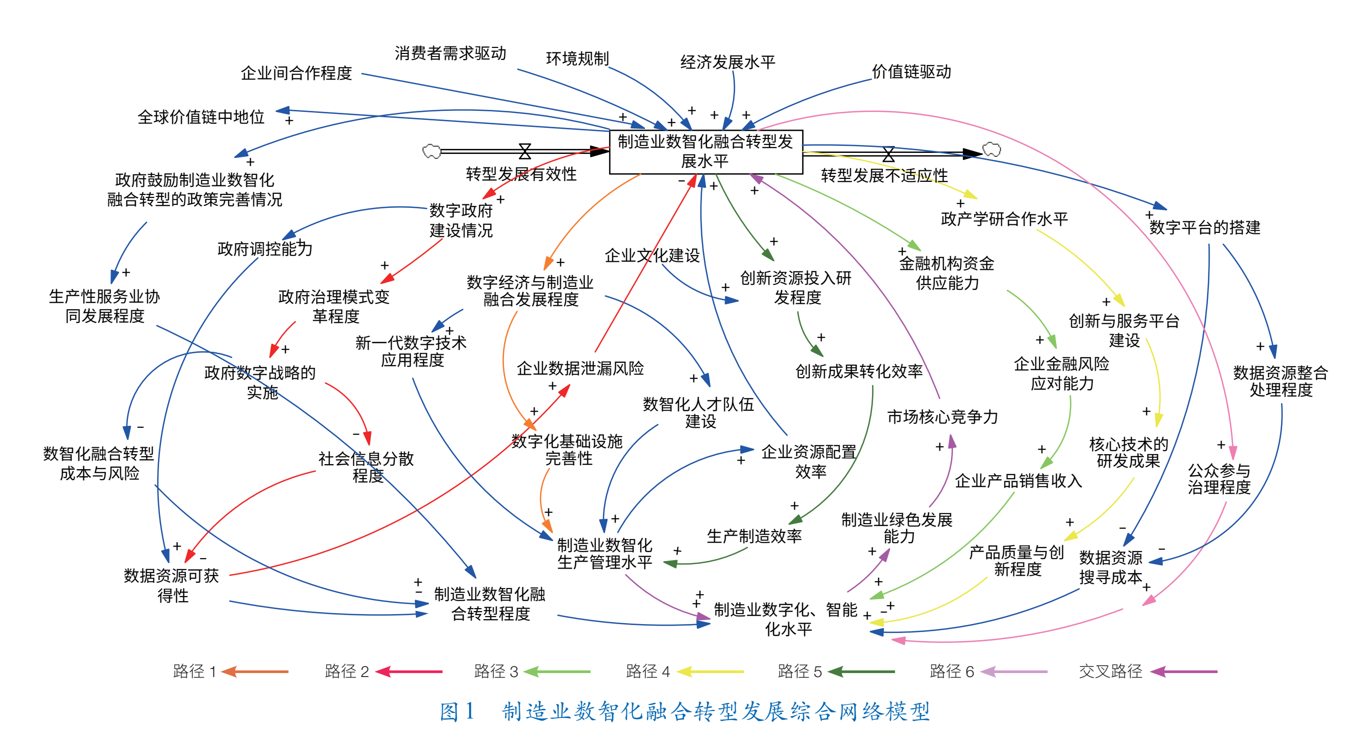


图1 制造业数智化融合转型发展综合网络模型

Figure 1 Integrated network model for transformation and development of digital intelligence integration in manufacturing industry

图中“+”表示起到促进作用，“–”表示起到抑制作用，因果链首尾串联，形成的闭合回路即因果反馈回路

“+” indicates that it plays a promoting role, and “–” indicates that it plays a role in inhibition, and the causal chain is connected in series from end to end, forming a closed loop that is the causal feedback loop

该系统中存在着众多反馈回路，不同回路之间相辅相成，纵横交错。通过运行Vensim PLE软件可以得出最为核心的6条反馈回路来反映该系统实际运行的状况。

路径1：制造业数智化融合转型发展水平→（+）数字经济与制造业融合发展程度→（+）数字化基础设施完善性→（+）制造业数智化生产管理水平→（+）制造业数字化、智能化水平→（+）制造业绿色发展能力→（+）市场核心竞争力→（+）制造业数智化融合转型发展水平（正）。

路径2：制造业数智化融合转型发展水平→（+）数字政府建设情况→（+）政府治理模式变革程度→（+）政府数字战略的实施→（–）社会信息分散程度→（–）数据资源可获得性→（+）企业数据泄漏风险→（–）制造业数智化融合转型发展水平（负）。

路径3：制造业数智化融合转型发展水平→（+）金融机构资金供应能力→（+）企业金融风险应对能力→（+）企业产品销售收入→（+）制造业数字化、智能化水平→（+）制造业绿色发展能力→（+）市场核心竞争力→（+）制造业数智化融合转型发展水平（正）。

路径4：制造业数智化融合转型发展水平→（+）政产学研合作水平→（+）创新与服务平台建设→（+）核心技术的研发成果→（+）产品质量与创新程度→（+）制造业数字化、智能化水平→（+）制造业绿色发展能力→（+）市场核心竞争力→（+）制造业数智化融合转型发展水平（正）。

路径5：制造业数智化融合转型发展水平→（+）创新资源投入研发程度→（+）创新成果转化效率→（+）生产制造效率→（+）制造业数智化生产管理水平→（+）制造业数字化、智能化水平→（+）制造业绿色发展能力→（+）市场核心竞争力→（+）制造业数智化融合转型发展水平（正）。

路径6：制造业数智化融合转型发展水平→（+）公众参与治理程度→（+）公众监督作用→（+）制造业数字化、智能化水平→（+）制造业绿色发展能力→（+）市场核心竞争力→（+）制造业数智化融合转型发展水平（正）。

除了上述6条主要的反馈回路外，该模型的其他要素之间也存在着相应的因果关系，系统要素之间是相互影响的，进而形成一定的反馈回路（反馈环）。通过反馈回路的信息可知，在制造业数智化融合转型发展过程中，每一个主体要素都不是独立的，而是相互之间可以产生一定影响的，即：一种主体可以影响另一种主体，进而对制造业数智化融合转型发展的整个生态系统产生相应影响。每个反馈环都存在一定的极性——正反馈环具有自我强化的效果，负反馈环具有自我调节的能力。制造业数智化融合转型发展系统中正反馈环数量要大于负反馈环，这说明系统的自我强化作用要比自我调节作用更大，在正负反馈环的共同作用下，系统最终达到一种稳定的状态。

4 制造业数智化融合转型发展：评价指标体系构建

前文对不同主体驱动下的制造业数智化融合转型发展逻辑及路径进行分析，并构建了制造业数智化融合转型发展的网络模型；其中，各个主体虽然不同，但都是围绕着同一目标要素在该系统中运行。本文结合相关学者的理论研究，依据关键要素与机理分析，以网络模型中的状态变量作为一级指标，以反映系统中各要素的现实状态；根据前文得出的6条路径，本文设计包括产业基础、两化融合、创新驱动、质效提升、治理体系、绿色发展等6项一级指标，以及数字基础、企业基础、数字化水平等14项二级指标和36项三级指标的制造业数智化融合转型发展水平评价指标体系（表1）。该指标体系不仅适用于对不同区域之间、不同细分行业之间制造业数智化融合转型发展水平的横向评价，也适用于不同发展时间阶段的制造业数智化融合转型发展水平纵向评价。

表 1　制造业数智化融合转型发展水平评价指标体系

Table 1　Evaluation index system of digital and intelligent integration transformation and development level of manufacturing industry

一级指标	二级指标	三级指标(单位)*	一级指标	二级指标	三级指标(单位)*
产业基础	数字基础	长途光缆线路长度(万公里)	治理体系	政府治理	政府政务应用指数
		移动电话基站数量(万个)			政府信息公开指数
		互联网宽带接入端口密度(万个)			生产性服务业协同发展程度(%)
	企业基础	制造业企业单位数(个)		企业治理	数字企业数量(个)
		制造业固定资产投资额(亿元)			每百家企业拥有网站数(个)
两化融合	数字化水平	数字化从业人员(人)			电子商务交易活动企业占比(%)
		数字化设备配置(万元)		机构治理	数字普惠金融指数
		数字化软件收入(亿元)			数据交易中心数量(个)
	智能化水平	智能生产从业人员(人)			研发机构数(个)
		智能生产效益(亿元)		个人治理	信息类就业人员数占就业总人数比重(%)
创新驱动	创新投入研发	研发(R&D)经费投入强度(%)			每万人拥有互联网域名数(万个)
		R&D人员数(人)			移动电话普及率(%)
	创新成果转化	有效发明专利数(件)	绿色发展	生态文明	单位制造业增加值废水排放量(万吨/亿元)
		新产品销售收入(亿元)			单位制造业增加值二氧化硫排放量(吨/亿元)
		科技成果转化率(%)		节能环保	单位制造业增加值能源消耗量(万吨/亿元)
质效提升	效益增长	高技术制造业效益比重(%)			固体废物处理利用率(%)
		制造业营业利润率(%)			
	质量建设	产品质量合格率(%)			
		产品质量损失率(%)			

* 相关三级指标数据及单位可从《中国高技术产业统计年鉴》《中国统计年鉴》《中国工业统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《中国城市统计年鉴》《中国信息产业年鉴》《中国经济普查年鉴》，以及中国国家统计局网站、各省市历年统计年鉴获得

* The above relevant index data can be obtained from *China Statistical Yearbook on High Technology Industry*, *China Statistical Yearbook*, *China Industry Statistical Yearbook*, *China Statistical Yearbook on Environment*, *China City Statistical Yearbook*, *Yearbook of China Information Industry*, *China Economic Census Yearbook*, and the website of the National Bureau of Statistics of China, and the statistical yearbooks of various provinces and cities

5 结论

本文通过厘清国内外学者关于制造业数智化融合转型的主要研究脉落与关键问题，提炼出制造业数智化融合转型的目标要素、主体要素与影响因素；在此基础上，依据产业关联理论、系统动力学理论等相关理论，构建制造业数智化融合转型发展的综合网络模型，分析各要素之间相互作用的机理。通过该网络模型揭示的运行机理与路径，从产业基础、两化融合、创新驱动、质效提升、治理体系、绿色发展等6个方面构建制造业数智化融合转型发展水平评价指标体系，以为制造业数智化融合转型发展水平测度评价提供参考。

参考文献

1 荆文君, 孙宝文. 数字经济促进经济高质量发展:一个理论分析框架. 经济学家, 2019, (2): 66-73.

Jing W J, Sun B W. Digital economy promotes high-quality economic development: A theoretical analysis framework.

Economist, 2019, (2): 66-73. (in Chinese)

2 杨慧梅, 江璐. 数字经济、空间效应与全要素生产率. 统计研究, 2021, 38(4): 3-15.

Yang H M, Jiang L. Digital economy, spatial effects and total factor productivity. Statistical Research, 2021, 38(4): 3-15. (in Chinese)

3 Szalavetz A. Impact of greening on the upgrading of manufacturing subsidiaries' technological capabilities—A Hungarian perspective. Journal of East European Management Studies, 2018, 23(3): 426-446.

4 王德辉, 吴子昂. 数字经济促进我国制造业转型升级的机制与对策研究. 长白学刊, 2020, (6): 92-99.

Wang D H, Wu Z A. Research on the mechanism and countermeasures of digital economy promoting the transformation and upgrading of China's manufacturing industry. Changbai Journal, 2020, (6): 92-99. (in Chinese)

5 王莉娜. 数字化对企业转型升级的影响——基于世界银行中国企业调查数据的实证分析. 企业经济, 2020, 39(5): 69-77.

Wang L N. The influence of digitalization on enterprise transformation and upgrading—An empirical analysis based on the survey data of China enterprises of the world bank. Enterprise Economy, 2020, 39(5): 69-77. (in Chinese)

6 李莹, 程广斌. 制造业与数字经济产业融合水平及创新效率测度. 统计与决策, 2023, 39(1): 17-22.

Li Y, Cheng G B. Industrial integration level and innovation efficiency measurement of manufacturing and digital economy. Statistics & Decision, 2023, 39(1): 17-22. (in Chinese)

7 Sun S Q, Tao Q Y. The relationship between technological innovation ability, atmosphere and innovation performance. International Journal of Information Systems and Supply Chain Management (IJISSCM), 2020, 13(2): 47-58.

8 赵玉林, 裴承晨. 技术创新、产业融合与制造业转型升级. 科技进步与对策, 2019, 36(11): 70-76.

Zhao Y L, Pei C C. Technological innovation, industrial convergence and manufacturing transformation and upgrading. Science & Technology Progress and Policy, 2019, 36(11): 70-76. (in Chinese)

9 李晓华. 制造业数字化转型与价值创造能力提升. 改革, 2022, (11): 24-36.

Li X H. Digital transformation of the manufacturing industry and enhancement of its value creation capacity. Reform, 2022, (11): 24-36. (in Chinese)

10 孟凡生, 宋鹏. 智能制造生态系统对制造企业智能化转型的影响机理. 科研管理, 2022, 43(4): 37-45.

Meng F S, Song P. Influencing mechanism of intelligent manufacturing ecosystem on intelligent transition of manufacturing enterprises. Science Research Management, 2022, 43(4): 37-45. (in Chinese)

Key elements, mechanism analysis and evaluation indicators of digital and intelligent integration transformation and development of manufacturing industry

SUN Xiaoqiang GAO Xiuyun WANG Yumei*

（College of Economics and Management, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, China）

Abstract The digital and intelligent integration transformation of manufacturing industry has become an important driving force for the high-quality development of traditional manufacturing enterprises. This study clarifies the main research context and key issues of scholars on the digital and intelligent integration transformation of manufacturing industry, refines the goals, main elements, and influencing factors of digital and intelligent integration transformation of manufacturing industry, builds a power network model for the transformation and development of digital and intelligent integration of manufacturing industry according to the system feedback principle of system dynamics, analyzes the mechanism of action between various elements of the system, and establishes a set of scientific integration evaluation index system on this basis. Thus, it provides a theoretical reference for further research on the transformation and development of digital and intelligent integration in manufacturing.

Keywords manufacturing industry, digital and intelligent integration transformation, key elements, mechanism analysis, evaluation indicators

孙小强 青岛科技大学经济与管理学院副教授。主要研究领域：制造业转型升级、创新创业管理等。E-mail: sunxiaoqiang09@126.com

SUN Xiaoqiang Associate Professor of College of Economics and Management, Qingdao University of Science and Technology. Her research focuses on transformation and upgrading of the manufacturing industry, innovation and entrepreneurship management, etc. E-mail: sunxiaoqiang09@126.com

王玉梅 青岛科技大学经济与管理学院教授。主要研究领域：企业战略管理、智能制造等。E-mail: sixu1016@163.com

WANG Yumei Professor of College of Economics and Management, Qingdao University of Science and Technology. Her research focuses on enterprise strategic management, intelligent manufacturing, etc. E-mail: sixu1016@163.com

■责任编辑：岳凌生

*Corresponding author